

대한민국특허청
KOREAN INTELLECTUAL
PROPERTY OFFICE

JCEB7 U.S. PRO
10/051375
01/11/02

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

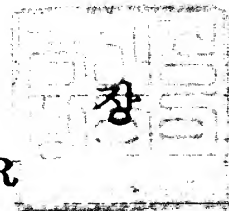
출원번호 : 특허출원 2001년 제 52030 호
Application Number PATENT-2001-0052030

출원년월일 : 2001년 08월 28일
Date of Application AUG 28, 2001

출원인 : 한국표준과학연구원
Applicant(s) KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE

2001 년 11 월 16 일

특 허 청
COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2001.08.28
【발명의 명칭】	2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 측정 시스템
【발명의 영문명칭】	Method and system for correcting the non-linearity error in a two-frequency laser interferometer
【출원인】	
【명칭】	한국표준과학연구원
【출원인코드】	3-1998-007764-4
【대리인】	
【성명】	박만순
【대리인코드】	9-1998-000234-8
【포괄위임등록번호】	1999-041592-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	엄태봉
【성명의 영문표기】	EOM, TAE BONG
【주민등록번호】	580319-1351111
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 한울아파트 107-304
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	서호성
【성명의 영문표기】	SUH, HO SUHNG
【주민등록번호】	560829-1683524
【우편번호】	302-761
【주소】	대전광역시 서구 내동 롯데아파트 101-201
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 최태영
【성명의 영문표기】 CHOI, TAE YOUNG
【주민등록번호】 730923-1447018
【우편번호】 302-280
【주소】 대전광역시 서구 월평동 437
【국적】 KR

【우선권주장】

【출원국명】 KR
【출원종류】 특허
【출원번호】 10-2001-0048463
【출원일자】 2001.08.11
【증명서류】 첨부

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의하여 위와 같이 출원합니다. 대리인
 박만순 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20 면	29,000 원
【가산출원료】	27 면	27,000 원
【우선권주장료】	1 건	26,000 원
【심사청구료】	9 항	397,000 원
【합계】		479,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관	
【감면후 수수료】		252,500 원

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 2 주파수 레이저 간섭계에서의 비선형 오차 보상 및 이를 이용한 위상각 측정방법에 관한 것으로, 2 주파수 레이저 간섭계의 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ψ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계 및 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x')(I_y')를 수학식($\theta = \arctan(I_y'/I_x')$)에 적용하여 위상각(θ)을 구하는 제 4단계로 구성된 것이다.

본 발명에 의하면, 90° 위상 혼합기에서 싸인 코싸인형태로 표시되는 두 출력신호가 정확한 싸인과 코싸인형태에서 벗어난 정도인 오프셋, 진폭, 위상차를 측정하여 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차를 보정함으로써 2 주파수 레이저 간섭계를 이용한 길이 측정의 정확도를 크게 향상시킬 수 있는 것이다.

【대표도】

도 5

1020010052030

출력 일자: 2001/11/19

【색인어】

간섭계. 위상각. 거리. 옵셋. 진폭. 위상. 비선형. 오차.

【명세서】

【발명의 명칭】

2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 측정시스템(Method and system for correcting the non-linearity error in a two-frequency laser interferometer)

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 2는 광학계 및 전자계에서 비선형 오차가 없을 때 90° 위상 혼합부에서 출력되는 완벽한 코사인 및 싸인형태의 두 출력신호(I_X)(I_Y)로서, 오프셋(offset)이 없고, 진폭이 같으며, 두 출력신호(I_X)(I_Y)의 위상 차이가 90° 인 일 예이다.

도 3은 도 2에서의 두 출력신호(I_X)(I_Y)에 대한 리샤쥬 그림(Lissajou figure)으로서, 비선형 오차가 없을 때 완벽한 원으로 나타난다.

도 4는 본 발명에 의한 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 5는 본 발명에 의한 2 주파수 레이저 간섭계에서의 비선형 오차 보상방법 및 이를 이용한 길이 측정을 위한 위상각 측정방법과 이를 위한 측정시스템을 나타낸 구조도이다.

도 6은 광학계 및 전자계에서 비선형 오차가 있을 때 90° 위상 혼합부의 두 출력 신호(I_x)(I_y)로서, 오프셋(offset)이 있고, 진폭이 다르며, 두 출력신호(I_x)(I_y)의 위상차이가 90° 가 안 되는 일 예이다.

도 7은 도 5에서의 두 출력신호(I_x)(I_y), 즉 도 6과 같은 신호에 대한 리샤쥬 그림(Lissajou figure)으로서, 비선형 오차에 의해 찌그러진 타원이 됨을 보여준다.

도 8은 본 발명에 의한 보정방법을 적용하였을 경우 비선형 오차가 축소됨을 보여주는 도면으로서, 도면에서 점선은 보정 이전의 비선형 오차를, 그리고 실선은 보정 이후에 남아 있는 비선형 오차를 나타낸다.

도 9는 전기용량식 길이측정기(Capacitance-type displacement sensor)와 레이저 간섭계와의 길이측정값의 차이를 비교한 예로서, 종래 기술에 의한 비선형 오차가 본 발명의 오차보정법을 적용하였을 경우 이전의 주기적인 오차가 제거됨을 보여준다.

※ 도면의 주요 부분에 대한 부호 설명 ※

1 : 레이저(Frequency stabilized laser)

2 : 광분리기(Beamsplitter)

3 : 편광 광분리기(Polarizing

beamsplitter)

4a,4b : 거울(mirror)

5a,5b : 편광판(Polarizer)

6a,6b : 광검출기(Photodetector)

7 : 90° 위상 변환기(90° phase shifter)

8a,8b : 믹서(Mixer)

9a,9b : 저주파 필터(Low-pass filter)

11a, 11b : 오프셋 보정기(Offset adjustment)

12a, 12b : 진폭 보정기(Amplitude adjustment)

13 : 위상 보정기(Phase adjustment)

14 : A/D 변환기(Analog-to-digital converter)

15 : D/A 변환기(Digital-to-analog converter)

16 : 룩업 테이블(lookup table) 17 : 마이크로프로세서(microprocessor)

100 : 간섭계 200 : 90° 위상 혼합부

300 : 비선형 오차 보정부 400 : 위상각 계산부

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<24> 본 발명은 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 위상각 측정방법과 측정시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 정밀하고 정확한 길이 측정에 사용되는 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차 즉, 오프셋, 진폭, 위상 등을 보정함으로써 길이 측정의 정확도를 크게 향상시킬 수 있도록 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 이용한 위상각 측정방법과 측정시스템에 관한 것이다.

<25> 도 1은 2 주파수 레이저 간섭계를 길이 측정에 적용하였을 경우의 광학계 및 전자계의 전형적인 구조도이다.

<26> 레이저(1)에서 발진되며, 서로 직교하고 선형 편광을 가지는 두 주파수의 레이저 광속(이하에서는, 서로 다른 주파수를 가지는 레이저 광속의 주파수를 각각 ω_1 과 ω_2 라 하고, 이에 대응되는 파장을 각각 λ_1 과 λ_2 라 하며, 진폭을 각각 A 와 B라 하며, 초기 위상을 각각 Q_A 와 Q_B 라 한다.)은 광분리기(2)에 의해 둘로 분리되는데, 이는 길이 측정을 위한 기준광과 측정광으로 사용된다.

<27> 상기 광분리기(2)에 의해 반사 분리된 기준광은 레이저 편광축에 대하여 45° 로 놓인 편광판(5a)을 통과한 후 광 검출기(6a)에 입사하게 된다.

<28> 이때 수직 수평 선형편광을 갖는 두 레이저 광속의 전자기장(E_{r1})(E_{r2})은 아래의 수학적 식 1,2와 같이 표현된다.

<29> **【수학적 식 1】** $E_{r1} = A \exp[i(\omega_1 t + \theta_A)]$

<30> **【수학적 식 2】** $E_{r2} = B \exp[i(\omega_2 t + \theta_B)]$

<31> 여기서 θ_A , θ_B 는 초기 위상을 나타낸다. 광검출기(6a)의 출력(I_r)은 아래의 수학적 식 3과 같이 표현되는 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되게 된다.

<32> **【수학적 식 3】** $I_r \propto (A^2 + B^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_A)]$

<33> 여기서, $\Delta\omega$ 는 두 레이저 광속의 주파수 차($\omega_1 - \omega_2$)이고, 수학적 식 3의 신호는 기준신호로 사용된다.

<34> 주파수 혼합(frequency mixing)이 없을 경우 광분리기(2)를 통과한 레이저 광속은 편광 광분리기(3)에 의해 수직 수평 편광성분으로 완벽하게 둘로 분리되어 일반적으로 코너큐브 프리즘(corner cube prism)이 사용되는 거울(4a)(4b)로 각각

입사하게 된다. 그리고 이 레이저 광속은 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에 의해 각각 반사된 후 다시 편광 광분리기(3)에서 혼합되어 간섭된다.

<35> 여기서, 두 레이저 광속은 다른 광경로(L_1)(L_2)(여기서, L_1 은 편광 분리기(3)에서 고정거울(4a)까지의 거리를, 그리고 L_2 는 이동거울(4b)까지의 거리를 일컫는다.)를 갖게 되는데, 이 레이저 광속은 편광판(5b)을 통과한 후 광검출기(6b)에서 두 레이저 광속의 간섭신호가 검출되게 된다.

<36> 이때 수직 수평 선형편광을 갖는 두 레이저 광속의 전자기장(E_{m1})(E_{m2})은 아래의 수학적식 4.5와 같이 표현된다.

<37> **【수학적식 4】** $E_{m1} = A \exp[i(\omega_1 t + \theta_A)]$

<38> **【수학적식 5】** $E_{m2} = B \exp[i(\omega_2 t + \theta_B + \theta)]$

<39> 이러한 광검출기(6b)의 출력(I_m)은 위의 수학적식 4,5로 표현되는 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되는데, 이는 아래의 수학적식 6과 같이 표현되며, 측정신호로 사용된다.

<40> **【수학적식 6】** $I_m \propto (A^2 + B^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_A) + \theta]$

<41> 여기서, θ 는 위상각으로서, 반사경인 두 거울(4a)(4b) 사이의 광경로차(L)에 의해 발생되며, 이는 아래의 수학적식 7과 같이 표현할 수 있다.

<42> **【수학적식 7】** $\theta = 4\pi nL/\lambda$

<43> 여기서, n 은 레이저 광속이 통과하는 매질(보통, '공기'를 말한다.)의 굴절률이고, L 은 두 거울(4a)(4b) 사이의 광경로차($L_1 - L_2$)이다. 위의 수학적식 3과 6은 두

광속의 주파수 차인 $\Delta\omega$ 의 맥놀이 주파수(beat frequency)를 갖는 정현파의 신호(sinusoidal signal)로 서로 다른 위상을 갖는다.

<44> 따라서, 거울의 이동거리 L 은 두 간섭신호, 즉 수학식 3의 I_r 과 수학식 6의 I_m 사이의 위상차(θ)를 측정함으로써 결정된다. 위의 위상차(θ)를 측정하는 방법으로는 여러 기술이 있으나, 여기서는 본 발명과 관련이 있는 90° 위상 혼합법을 설명하기로 한다.

<45> 먼저, 90° 위상 변환기(7)와 두 개의 믹서(8a)(8b)로 구성되며, 록인 증폭기(lockin-amplifier)에서 사용되는 90° 위상 혼합부는 두 맥놀이 신호(I_r)(I_m)를 입력받아 위상각(θ)의 싸인(sine)과 코싸인(cosine) 형태에 비례하는 신호를 출력하게 된다. 여기서, 90° 의 위상 차이가 나는 싸인과 코싸인 형태의 신호는 이동거울의 이동량과 방향을 측정하는데 이용된다.

<46> 90° 위상 혼합부의 기능을 자세히 설명하면 다음과 같다. 두 맥놀이 신호(I_r)(I_m)는 고주파필터에 의해 $\Delta\omega$ 의 맥놀이 주파수에 해당되는 신호만 통과된 후 광검출기(6a)로부터의 기준 맥놀이 신호(I_r)는 원래의 기준 맥놀이 신호와 90° 위상 변환기(7)에 의해 90° 위상이 바뀐 기준 맥놀이 신호로 나누어지고, 광검출기(6b)로부터의 측정 맥놀이 신호(I_m)는 동일한 위상을 갖는 두 신호로 나뉘어진다. 위와 같은 4개의 기준 및 측정 맥놀이 신호는 두 개의 믹서(8a)(8b)에 의해 서로 곱해져 아래의 수학식 8, 9와 같은 두 신호로 출력되게 된다.

<47> **【수학식 8】** $I_X \propto \cos(\Delta\omega t) \cos(\Delta\omega t + \theta)$

<48> **【수학식 9】** $I_Y \propto \sin(\Delta\omega t) \cos(\Delta\omega t + \theta)$

<49> 위의 신호(I_X)(I_Y) 중 고주파 성분이 저주파 필터(9a)(9b)를 통과하면서 제거되어 위상각(θ)만을 포함한 아래의 수학식 10,11과 같은 신호(I_X)(I_Y)만이 저주파 필터(9a)(9b)로부터 출력되게 된다.

<50> **【수학식 10】** $I_X \propto \cos \theta$

<51> **【수학식 11】** $I_Y \propto \sin \theta$

<52> 위의 수학식 10과 11의 신호(I_X)(I_Y)를 보면, 이는 도 2와 같이 두 신호 사이에 90° 의 위상 차이를 가지며, 진폭이 같고 오프셋이 없는 완벽한 싸인, 코싸인 형태를 갖는다. 또한, 위의 신호(I_X)(I_Y)를 직교 좌표계의 X, Y축에 대응하여 그린 리사주 그림은 도 3과 같이 완벽한 원을 그리게 된다. 이와 같이 비선형 오차가 없는 수학식 10과 11로 표시되는 신호일 경우 위상각 θ 는 아래의 수학식 12로부터 아주 쉽게 구할 수 있다.

<53> **【수학식 12】** $\theta = \arctan(I_Y/I_X)$

<54> 지금까지 설명한 종래의 90° 위상 혼합법에 의하면, 편광 광분리기(3)에 의해 주파수가 다른 두 레이저 광속(ω_1)(ω_2)이 완벽하게 분리되는 이상적인 경우에 비선형 오차가 없이 길이 측정용 간섭계에 적용될 수 있다.

<55> 그러나, 이와 같이 주파수 혼합 없이 비선형 오차가 발생되지 않는 이상적인 조건은 실제 상황에서 달라진다. 즉, 레이저(1)로부터의 레이저 광속의 비직교성(non-orthogonality of the polarization)과 타원성(elliptical polarization), 편광 광분리기(3)의 잘못된 정렬과 불완전성 등으로 인하여, 두 주파수의 성분이

편광 광분리기(3)에서 완벽하게 분리되지 않고 다른 주파수 성분이 일부 섞이게 된다.

<56> 이와 같은 주파수 혼합(frequency mixing)에 의해 측정된 위상각(θ)과 실제 두 거울 사이의 상대적인 이동거리(L) 사이에 비선형적인 관계를 갖게 된다. 이것은 계산된 거리(L)가 주기적인 비선형 오차를 갖게 됨을 의미한다.

<57> 이와 같이 2 주파수 레이저 간섭계에서 90° 위상 혼합기술만을 사용한 종래의 방법에서는 주파수 혼합에 의한 비선형 오차를 고려하지 않고 사용하기 때문에 길이 측정에 오차가 발생하는 등의 문제가 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<58> 상기한 바와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 2 주파수 레이저 간섭계에서 위상각 측정을 위해 사용되는 90° 위상 혼합기에서 출력되는 싸인과 코싸인 형태의 두 신호의 오프셋, 진폭, 위상 등을 측정하고 보정함으로써 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정의 정확도를 크게 향상시키기 위한 비선형 오차 보상방법 그리고 이를 적용한 위상각 측정방법 및 측정시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<59> 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 하나의 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변

환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 것을 특징으로 한다.

$$\langle 60 \rangle \quad \theta = \tan^{-1} [\cos \phi (\sin \phi + (b/a)(I_x - I_{x0}) / (I_y - I_{y0}))]$$

$\langle 61 \rangle$ 본 발명의 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)로부터 이 신호의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고 이 타원 계수와 출력신호(I_x)(I_y)의 값을 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 방식으로 각 출력신호(I_x)(I_y)와 이들로부터 계산된 위상각(θ)을 한 쌍으로 하는 데이터로 각 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 룩업 테이블(lookup table)을 작성하여, 위상각(θ)을 측정할 때 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는

출력신호(I_x)(I_y)와 한 쌍을 이루는 위상각(θ)을 상기 룩업 테이블로부터 읽어내는 것을 특징으로 한다.

$$\langle 62 \rangle \quad \theta = \tan^{-1} [\cos \phi (\sin \phi + (b/a)(I_x - I_{xo}) / (I_y - I_{yo}))]$$

$\langle 63 \rangle$ 본 발명의 또 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부, 비선형 오차 보정부, 위상 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법에 있어서, 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 출력신호(I_x)(I_y)와 타원계수로부터 출력신호(I_x)(I_y)의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90°를 벗어난 위상차 ϕ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

$\langle 64 \rangle$ 본 발명의 또 다른 실시예는, 2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 비선형 오차 보정부, 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수

레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r')를 혼합한 후 이로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계와, 상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2 단계와, 상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ϕ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3 단계 및 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x')(I_y')를 아래의 수학적 식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 제 4단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

$$<65> \theta = \arctan(I_y/I_x)$$

<66> 이하에서는 본 발명의 여러 실시예를 설명할 때 종래의 구성과 동일한 간섭계 (100)와 90° 위상 혼합부(200)에 대한 구체적인 설명은 생략하고, 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 부여한다.

<67> 도 4 및 도 5를 참조하면, 본 발명은 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 고정 및 이동거울(4a)(4b)에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간

섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)를 출력하는 2 주파수 레이저 간섭계(100)와, 상기 간섭계(100)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 각각 혼합한 후 고주파 성분을 필터링하여 위상 감지를 위한 출력신호(I_x)(I_y)를 출력하는 90° 위상 혼합부(200)와, 비선형 오차 보정부(300)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 피드백받아 상기

출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 오프셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하고, 상기 계산된 조정전압에 의해 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ϕ 가 '0'이 되도록 보정하는 비선형 오차 보정부(300) 및 상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 수학적식($\theta = \arctan(I_y'/I_x')$)에 적용하여 위상각(θ)을 구하는 위상각 계산부(400)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<68> 더욱 상세하게는 상기 간섭계(100)는, 주파수가 서로 다른 수직·수평의 편광성분을 갖는 레이저 광속(ω_1)(ω_2)을 발진하는 레이저(1)와, 상기 레이저 광속을 편광 광분리기(3)에 입사하기 위한 측정광과 편광판(5a)을 통해 광검출기(6a)에 입사하기 위한 기준광으로 각각 분리하는 광분리기(2)와, 상기 광분리기(2)의 기준광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 기준신호(I_r)를 검출하여 믹서(8a)와 90° 위상 변환기(7)에 각각 공급하는 광검출기(6a)와, 상기 광분리기(2)에서 출력되는 두 레이저 광속의 측정광을 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에 입사시켰다가 반사되는 두 레이저 광속을 다시 혼합한 후 편광판(5b)을 통해 광검출기(6b)에 공

급하는 편광 광분리기(3) 및 상기 편광 광분리기(3)의 측정광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 측정신호(I_m)를 검출하여 믹서(8a)(8b)에 각각 공급하는 광검출기(6b)로 구성될 수 있다.

<69> 또한, 상기 90° 위상 혼합부(200)는, 상기 광검출기(6a)에서 공급되는

기준신호(I_r)를 90° 위상 변환시켜 믹서(8b)에 공급하는 90° 위상 변환기(7)와, 상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 광검출기(6a)에서 출력되는 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8a)와, 상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 90° 위상 변환기(7)를 통해 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8b) 및 상기 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')로부터 고주파 성분을 필터링하여 옵셋 보정기(11a)(11b)에 각각 공급하는 저주파 필터(9a)(9b)로 구성될 수 있다.

<70> 그리고, 상기 비선형 오차 보정부(300)는, A/D 변환기(14)를 통해 비선형 오차 보정부(300)로부터 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 옵셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 옵셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 마이크로프로세서(17)와, D/A 변환기(15)를 통해 상기 마이크로프로세서(17)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 옵셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되도록 보정하는 옵셋 보정기(11a)(11b)와, 상기 D/A 변환기(15)를 통해 상기 마이크로 프로세서(17)로부터 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖도록 보정하는 진폭 보정기(12a)(12b) 및 상기 D/A 변환기(15)를 통

해 상기 마이크로 프로세서(15)로부터 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상값 ψ 가 '0'이 되도록 보정하는 위상 보정기(13)를 구비하고 있다.

<71> 특히, 상기 비선형 오차 보정부(300)의 옵셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13)는, 서로 다른 순서로 배열하여도 동일한 효과를 얻을 수 있을 것이다.

<72> 상기 비선형 오차 보정부(300)를 이용한 오차 자동 보정 방법을 적용하지 않고 위상각 계산부(400)에서 직접 상기 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)로부터 상기 출력신호(I_x)(I_y)의 진폭 a , b 와, 옵셋 I_{xo} , I_{yo} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 구한 후 위상각(θ)을 아래에서 설명될 여러 수학식에 적용하여 계산하여도 비선형성이 제거된 위상각(θ)을 구할 수 있을 것이다. 하지만, 이 방법은 하나의 위상각 계산부(400) 즉, 마이크로 프로세서에 의해 타원계수를 구하고 또 계산시간이 많이 필요한 수학식 22 등을 계산하기 때문에 실시간적으로 비선형 오차를 보정하는데 한계가 있다.

<73> 또한, 상기 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)의 진폭 a , b 와, 옵셋 I_{xo} , I_{yo} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 계산한 후 여러 출력신호(I_x)(I_y)의 많은 데이터 쌍에 해당되는 위상각(θ)을 수학식 22로부터 구하여 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 위상각(θ)을 룩업 테이블(lookup table)로 작성한 후 상기 룩업 테이블로부터 상기 출력신호(I_x)(I_y)에 해당하는 위상각(θ)을 구할 수도 있다.

- <74> 본 발명을 설명하기에 앞서 2 주파수 레이저 간섭계의 비선형 오차를 이론적으로 살펴보자. 위에서도 언급했듯이, 2 주파수 레이저 간섭계(100)가 비선형 오차를 갖지 않는 것이 바람직하다. 이 경우, 90° 위상 혼합부(200)에서 출력되는 두 출력신호(I_x)(I_y)는 도 2와 같이 위상각(θ)의 순수한 싸인, 코사인 형태일 뿐더러 진폭이 서로 같고 오프셋이 없으며 90° 의 정확한 위상 차이가 갖는다.
- <75> 여기서, 위의 출력신호(I_x)(I_y)는 이동거울(4b)이 반 파장($\lambda/2$)만큼 이동할 때마다 한 주기씩 변하게 된다. 또한, 이들 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 리샤쥬 그림은 도 3과 같이 완벽한 원이 그리게 된다. 따라서 위상각(θ)은 수학식 10과 11의 아크탄젠트 (\arctan)인 수학식 12로부터 쉽게 구할 수 있을 것이다.
- <76> 하지만, 실제의 길이 측정장치에서는 피할수 없는 주파수의 혼합으로 광분리기(2)에서 반사된 레이저 광속이 편광 광분리기(3)에서 완벽하게 분리되지 않고 다른 주파수 성분의 빛이 약간 섞이게 된다.
- <77> 진폭 A, B인 두 주파수 레이저 광속에 다른 주파수 성분이 α , β 만큼 혼합되어 편광 광분리기(3)에 의해 분리된다고 가정하면, 다른 주파수 성분(α , β)을 포함한 두 레이저 광속은 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에서 각각 반사된 후 다시 편광 광분리기(3)에서 합해진다. 여기서, 다른 주파수 성분 α , β 는 진폭 A, B에 비해 매우 작은 양이다.
- <78> 상기한 편광 광분리기(3)에 의해 합해지는 두 레이저 광속은 각각 서로 다른 광경로(L_1)(L_2)를 거쳐 편광판(5b)을 통해 광 검출기(6b)에 의해 두 레이저 광속의 간섭신호로 검출되는데, 그 측정신호(I_m)는 아래의 수학식 13과 같이 표현된다.

<79> **【수학식 13】** $I_m \propto (A^2 + B^2 + \alpha^2 + \beta^2)/2 + AB \cos[\Delta\omega t + \theta + (\theta_B - \theta_A)] + A\beta \cos[\Delta\omega t + (\theta_A - \theta_B)]$

<80> $+ B\alpha \cos[\Delta\omega t + (\theta_B - \theta_\alpha)] + A\alpha \cos[\theta + (\theta_\alpha - \theta_A)] + B\beta \cos(\theta + \theta_B - \theta_\beta)]$

<81> $+ \alpha\beta \cos[\Delta\omega t - \theta + (\theta_\beta - \theta_\alpha)]$

<82> 물론, 광검출기(6a)에 의해 검출되는 기준신호(I_r)는 수학식 3의 신호와 동일하게 표시된다. 위의 수학식 3과 수학식 13의 I_r , I_m 에서의 직류(DC)성분과 거의 직류성분과 유사한 성분은 도시되지 않은 고주파 필터(high-pass filter)에 의해 제거된다.

<83> 따라서, 수학식 3의 기준신호(I_r)와 수학식 13의 측정신호(I_m)는 아래의 수학식 14 및 15와 같이 간단한 식으로 표시된다.

<84> **【수학식 14】** $I_r \propto \cos(\Delta\omega t)$

<85> **【수학식 15】** $I_m \propto \cos(\Delta\omega t + \theta) + [(A\beta + B\alpha)/(AB)] \cos(\Delta\omega t) + (\alpha\beta)/(AB) \cos(\Delta\omega t - \theta)$

<86> $= \cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)$

<87> 여기서, Γ_1 는 $(A\beta + B\alpha)/(AB)$ 이고, Γ_2 는 $\alpha\beta/AB$ 이다.

<88> 위의 수학식 15에서 첫째 항은 기본 맥놀이 신호이고, 둘째, 셋째 항은 비선형 오차를 일으키는 항이다.

<89> 위의 광검출기(6a)(6b)로부터 두 맥놀이 신호(I_r)(I_m)를 입력받은 90° 위상 혼합부(200)는 위상각(θ)의 싸인, 코싸인 형태에 거의 비례하는 신호를 출력한다.

<90> 다시 말하면, 기준신호(I_r)는 90° 위상 변환기(7)에 의해 기준신호(I_r)와, 기준신호(I_r)와 90° 의 위상 차이를 갖는 두 신호로 나뉘어져 각각 믹서(8a)(8b)에서 광검출기(6b)로부터 공급되는 측정신호(I_m)와 각각 곱해져 아래의 수학적식 16, 17과 같은 신호(I_x)(I_y)를 출력한다.

<91> **【수학적식 16】** $I_x = \cos(\Delta\omega t) [\cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)]$

<92> **【수학적식 17】** $I_y = \sin(\Delta\omega t) [\cos(\Delta\omega t + \theta) + \Gamma_1 \cos(\Delta\omega t) + \Gamma_2 \cos(\Delta\omega t - \theta)]$

<93> 이렇게 곱해진 두 신호(I_x)(I_y)는 저주파 필터(9a)(9b)에 의해 고주파 성분이 제거되어, 위상각(θ)을 포함하는 수학적식 18, 19와 같은 신호(I_x)(I_y)가 된다.

<94> **【수학적식 18】** $I_x = [1 + \Gamma_2]/2 \cos\theta + \Gamma_1/2$

<95> **【수학적식 19】** $I_y = -[(1 - \Gamma_2)/2] \sin\theta$

<96> 위의 수학적식 18, 19를 보면, 리샤쥬 그림에서의 타원의 직경은 Γ_2 에 의해 변경되고, Γ_1 에 의해 원점이 이동됨을 알 수 있다.

<97> 도 1과 같은 종래의 기술에 의하면, 위상각(θ)은 수학적식 12로부터 직접 구하였다.

<98> 그러나 수학적식 12는 수학적식 18, 19와 같이, 레이저 간섭계가 비선형 오차 항을 갖고 있을 때 정확한 위상값을 제공하지 못한다. 따라서, 수학적식 12는 비선형 오차가 있을 경우 정확한 위상계산을 위하여 사용될 수 없어 수정되어야 함을 알 수 있다.

- <99> 위에서 설명했듯이 주파수 혼합이 있을 경우 위상각(θ)의 싸인, 코싸인 형태인 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 두 신호(I_x)(I_y)가 비선형 오차에 의해 변형되어 있어, 수학적 식 12에 의한 위상각 계산은 정확한 위상을 제공하지 못한다는 것에 본 발명의 근거가 있다.
- <100> 실제의 길이 측정장치에서는 전자장치 등의 이득(gain)이나 오프셋, 90° 위상 변환기(7)에서의 90° 위상 변환 등이 동일하게 이루어지지 않아 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x)(I_y)를 이론과는 약간 다른 수학적 식 20, 21과 같이 표현할 수 있다.
- <101> **【수학적 식 20】** $I_x = a \cos(\theta + \phi) + I_{xo}$
- <102> **【수학적 식 21】** $I_y = b \sin(\theta) + I_{yo}$
- <103> 여기서, a 와 b 는 진폭이고, I_{xo} 와 I_{yo} 는 오프셋, ϕ 는 90° 위상으로부터의 차이를 나타낸다.
- <104> 이는 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 신호(I_x)(I_y)가 정확한 싸인, 코싸인 형태의 신호가 아니라는 것을 의미하는 것으로서, 도 6과 같이 다른 진폭, '0'이 아닌 오프셋과 90°가 아닌 위상차를 갖는 신호임을 알 수 있다. 보다 명확하게는 도 7의 리샤쥬 그림을 보면, 축이 변환되고 직경이 다르며 원점이 이동한 타원임을 알 수 있다.
- <105> 하지만, 위의 수학적 식 20, 21에서 진폭 a , b 와, 오프셋 I_{xo} , I_{yo} 와, 90°와 다른 위상차 ϕ 등을 정확하게 알 수 있다면, 오차가 보정된 위상각(θ)을 수학적 식 20, 21로부터 아래의 수학적 식 22를 유도하여 구할 수 있다.

<106> **【수학식 22】** $\theta = \tan^{-1}[\cos\phi(\sin\phi + (b/a)(I_x - I_{xo})/(I_y - I_{yo}))]$

<107> 위의 수학식 22에 의해 계산된 위상각은 주파수 혼합에 의한 비선형 오차가 보정되어 있어, 위상각(θ)으로부터 이동거울(4b)의 상대적인 변위(L)을 정확하게 구할 수 있는 것이다.

<108> 만일, 2 주파수 레이저 간섭계(100)에서 비선형 오차가 없을 때, 즉 진폭 a, b가 같고 옵셋 I_{xo} , I_{yo} 와 90° 와 다른 위상차 ϕ 가 '0'일 경우에는 수학식 22가 수학식 12와 같이 되어, 주파수 혼합이 없을 때와 동일한 위상값을 갖는다.

<109> 실제로 길이를 측정함에 있어, 도 4의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템에서와 같이, 별도의 비선형 오차 보정 없이 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)를 믹서(8a)(8b) 후단의 A/D 변환기(14)를 통해 변환한 후 위상각 계산부(400)에 입력하면, 위상각 계산부(400)는 상기한 출력신호(I_x)(I_y)와 그로부터 계산된 타원계수를 위의 수학식 22에 적용하여 해당 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 위상각(θ)을 매번 계산하여 간섭계(100)에서의 비선형 오차를 보정할 수도 있으나, 이 경우 수학식 22를 계산하는데 많은 시간이 소요되는 관계로 측정 중에 타원계수와 수학식 22를 계산하여 오차를 보정하는 방법은 실시간 측정에 적용하는데 한계가 있다.

<110> 따라서, 보다 빠른 보정을 위해 도 4에서와 같이 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x)(I_y)에 대한 많은 데이터 쌍의 위상각(θ)을 수학식 22를 기초로 미리 계산하여 비선형 오차의 보정 없이 위상각 계산부(400)에 연결되어 있는 록업 테이블(16)에 저장하였다가 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 신호(I_x)(I_y)가 입력될

때마다 그에 대응되는 위상각(θ)을 룩업 테이블(16)로부터 찾아 보정할 수 있을 것이다.

<111> 다시 말하면, 마이크로프로세서를 포함하는 위상각 계산부(400)는 A/D 변환기(14)를 통해 입력되는 신호(I_x)(I_y)값을 읽은 후 해당 신호(I_x)(I_y)값에 대응하는 데이터 쌍의 위상각(θ)을 마이크로 프로세서를 구비한 위상각 계산부(400)에 연결되어 있는 룩업 테이블(16)로부터 취하면 수학적 식 22에 의한 별도의 계산하는 과정 없이도 빠른 시간 내에 위상각(θ)을 알 수 있다.

<112> 이와 같은 룩업 테이블을 이용한 방법으로 실시간에 가깝게 위상값을 구할 수 있으나, 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 등의 타원계수가 길이를 측정하는 중에 변할 경우에는 정확한 위상값을 얻을 수 없다.

<113> 만약, 수학적 식 20, 21에서 믹서(8a)(8b)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)를 전자적으로 조정하여 수학적 식 10, 11과 같은 형태로 보정을 하면 즉, 진폭 a 와 b 가 같고 오프셋 I_{x0} 와 I_{y0} 가 '0'이 되도록 조정하면, 수학적 식 22에 의해 계산하지 않고 거의 실시간적으로 위상을 정확하게 구할 수 있는 것이다.

<114> 위의 수학적 식 12에 의해 위상을 구하는 방법에 대해서는 앞선 설명으로도 당업자가 충분히 실시 가능하기에 구체적으로 설명하지 않는다.

<115> 도 5에 의하면, 90° 위상 혼합부(200)로부터 출력되는 두 출력신호(I_x)(I_y), 즉 저주파 필터(9a)(9b)에서 출력되는 두 출력신호(I_x)(I_y)는 비선형 오차 보정부(300)의 오프셋 보정기(11a)(11b)에 각각 입력되게 된다.

<116> 옵셋 보정기(11a)에 입력된 신호(I_y)는 진폭 보정기(12a)와 위상 보정기(13)를 통해 최종적으로 보정된 출력신호(I_y')로 A/D 변환기(14)에 의해 변환되어 마이크로프로세서(17)에 입력되고, 옵셋 보정기(11b)에 입력되는 출력신호(I_x)는 진폭 보정기(12b)만을 통해 출력신호(I_x')로 A/D 변환기(14)에 의해 변환되어 마이크로프로세서(17)에 입력되게 된다.

<117> 즉, 위의 진폭 보정기(12b)의 출력과 위상 보정기(13)의 출력은 A/D 변환기(14)에 의해 각각 디지털 상태로 변환되어 마이크로 프로세서(17)에 입력되는 것이다. 이어서, 마이크로프로세서(17)는 진폭 보정기(12b)와 위상 보정기(13)로부터의 출력신호(I_x')(I_y')를 기초로 하여 진폭 a,b와 옵셋 I_{x0} , I_{y0} , 위상차 ψ 등의 타원계수를 계산하고, 옵셋, 진폭, 위상 등의 비선형 오차를 보정하기 위한 피드백 전압(feedback voltage), 즉 보정을 위한 조정 전압을 결정하게 된다.

<118> 다음, 마이크로프로세서(17)는 5개의 피드백 전압, 즉 조정전압을 D/A 변환기(15)를 통해 비선형 오차 보정부(300)로 피드백시켜 90°위상 혼합부(200) 즉, 믹서(9a)(9b)에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)의 옵셋과 진폭 그리고 위상을 보정하게 된다.

<119> 다시 말하면, 마이크로프로세서(17)로부터 출력된 조정 전압이 D/A 변환기(15)를 통해 옵셋 보정기(11a)(11b)에 각각 입력되어, 믹서(9a)(9b)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)의 옵셋 I_{x0} 와 I_{y0} 가 '0'이 되도록 보정되게 된다. 또한, 마이크로프로세서(17)로부터 출력된 조정 전압이 D/A 변환기(15)를 통해 진폭 보정기(12a)(12b)에 각각 입력되어, 옵셋 보정기(11a)(11b)를 통해 출력한 두 신호의 진폭 a와 b가 동일한 값을 가지도록 보정된다. 마지막으로, 마이크로 프로세서

(17)로부터 공급되는 조정 전압을 입력받은 위상 보정기(13)는 옵셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b)를 통한 최종의 두 출력신호(I_x')(I_y')의 위상 차이가 90° 가 나도록, 즉 위상차(ψ)가 '0' 이 되도록 보정된다.

<120> 따라서, 간섭계(100)에서 발생한 출력신호(I_x)(I_y)의 진폭 a,b와 옵셋 I_{x0} , I_{y0} 그리고 위상차(ψ) 등의 비선형 오차가 비선형 오차 보정부(300)에 의해 보정되므로 최종적으로 마이크로 프로세서(17)에 입력되는 신호(I_x')(I_y')는 수학적 10,11과 같은 순수한 싸인, 코싸인 형태의 신호가 된다.

<121> 상기한 두 출력신호(I_x')(I_y')를 입력받은 위상각 계산부(400)는 내부의 아크탄젠트 함수(arctangent function)를 하는 위상 계산회로에 의해 정확한 위상을 계산하고, 이를 기초로 하여 이동거울(4b)의 이동량을 계산하게 된다.

<122> 본 발명의 다른 실시예로서는 위의 비선형 오차 보정부(300)에서 옵셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13)의 순서를 서로 바꾸어 배치하여도 본 발명의 목적을 달성할 수 있다.

<123> 본 발명의 성능시험을 위하여 도 5와 같은 본 발명에 의한 장치의 두 곳으로부터의 출력, 즉 저주파 필터(9a)(9b)로부터 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)와 비선형 오차 보정부(300)로부터 최종적으로 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 각각 도시되지 않은 데이터 입출력보드(data acquisition board)의 A/D 변환기를 통해 성능시험을 위한 소정의 알고리즘이 내장된 성능시험용 컴퓨터에 입력함으로써 본 발명의 비선형 오차 보정부(300)에 의한 옵셋, 진폭, 위상 등의 보정으로 비선형 오차가 제거된 결과를 모니터링 할 수 있다.

<124> 즉, 각 출력신호(I_x)(I_y)(I_x')(I_y')의 잔류 오차(residual error)를 측정함으로써 출력신호(I_x)(I_y)는 비선형 오차가 보정되기 이전, 즉 종래의 기술로부터 얻을 수 있는 신호이고, 출력신호(I_x')(I_y')는 본 발명의 비선형 오차 보정부(300)에 의해 옴셋, 진폭, 위상 등이 보정되어 비선형 오차가 제거된 신호임을 확인할 수 있다.

<125> 이러한 성능시험을 위해서는 도 5의 2 주파수 레이저 간섭계(100)를 설치하는데, 이때 이동거울(4b)은 피에조 변환기(Piezo transducer)에 의해 아주 작은 길이(수십 μm)를 움직일 수 있는 이동대 위에 설치하였다.

<126> 이동거울(4b)이 서서히 이동하는 중에 성능시험용 컴퓨터는 저주파 필터(9a)(9b)로부터의 출력신호(I_x)(I_y)와 비선형 오차 보정부(300)로부터의 출력신호(I_x')(I_y')를 각각 입력받아 위의 수학식 20,21의 타원곡선에 적용(fitting)하여 각 출력신호(I_x)(I_y)(I_x')(I_y')에 대한 타원계수를 각각 구한다. 이렇게 얻어진 타원계수를 수학식 12와 22에 각각 대입하여 각각 위상을 구한 후 위의 수학식 12와 22로 구한 위상값의 차이로부터 두 종류의 신호(I_x)(I_y)와 신호(I_x')(I_y')에 대하여 잔류오차를 각각 계산하였다.

<127> 이렇게 컴퓨터에 의해 계산된 잔류오차는 레이저 간섭계가 갖는 비선형 오차와 이것이 본 발명의 비선형 오차 보정법에 의해 오차가 보정된 후 남아있는 오차를 계산에 의해 구한 것으로서, 이는 도 8과 같이 90° 위상 혼합부(200)의 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 결과는 점선으로 표시되고, 비선형 오차 보정부(300)의 출력신호(I_x')(I_y')에 대한 결과는 실선으로 표시되어 있다.

<128> 즉, 도 8에 의하면, 비선형 오차 보정부(300)에 의해 옅셋, 진폭, 위상 등의 보정이 이루어진 경우의 출력신호(I_x')(I_y')가 비선형 오차 보정부(300)에 의해 보정이 이루어지기 이전의 출력신호(I_x)(I_y) 보다 훨씬 작은 잔류오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

<129> 본 발명의 성능을 보다 정량적으로 분석하기 위해 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 값과 정전용량형 길이 측정기의 값을 동시에 비교하기로 한다.

<130> 먼저, 위의 방법과 마찬가지로 2 주파수 간섭계(100)를 설치한 후 피에조 변환기를 이용하여 이동거울(4b)을 천천히 이동시키면서 도 5의 2 주파수 레이저 간섭계(100)로부터 얻어진 두 쌍의 출력신호(I_x)(I_y), (I_x')(I_y')와 정전용량형 길이 측정기에 의해 측정된 출력을 컴퓨터에 동시에 입력하게 된다.

<131> 위의 출력신호(I_x)(I_y)의 아크탄젠트, 즉 수학식 12로 계산하여 얻어진 즉, 비선형 오차가 보정되지 않은 이동거울(4b)의 이동량과 정전용량형 길이 측정기의 출력을 선형 적용(linear fitting)한 결과의 차이가 도 9에서 +자 선으로 표시되어 있다. 그림을 보면, 2 주파수 레이저 간섭계(100)에서의 비선형 오차로 인한 주기적인 정현파(sinusoidal wave)의 신호와 정전용량형 길이 측정기의 비선형 오차인 아주 완만한 오차를 도 9의 그래프에서 확인할 수 있다.

<132> 또한, 비선형 오차 보정부(300)의 출력신호(I_x')(I_y')의 아크탄젠트, 즉 수학식 12로 계산하여 얻은, 즉 비선형 오차 보정부(300)에 의해 옅셋, 진폭, 위상 등을 보정한 상태에서의 이동거울(4b)의 이동량과 정전용량형 길이 측정기의 출력을 5차식 적용(5th order polynomial fitting)한 결과의 차이가 도 9에서 실선으로 표시되어 있다.

<133> 이 경우 +자 선의 그림에서 보였던 정현파의 주기적인 신호가 제거됨을 알 수 있다. 즉, 이는 본 발명의 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 비선형 오차가 제거됨을 보여준다.

<134> 도 8과 도 9에 의하면, 본 발명의 적용으로 2 주파수 레이저 간섭계(100)의 비선형 오차가 제거되어, 비선형 오차가 제거되지 않은 종래 기술에 비해 길이 측정의 정확도가 향상됨을 알 수 있다.

【발명의 효과】

<135> 따라서, 본 발명에 의하면 90도 위상혼합기의 출력신호에 대한 옵셋, 진폭, 위상 등의 보정으로 2 주파수 레이저 간섭계에서 발생하는 주기적인 비선형 오차를 제거함으로써 2 주파수 레이저 간섭계를 이용한 길이 측정의 정확도를 크게 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

<136> 이상에서 본 발명은 기재된 구체적인 실시예에 대해서만 상세히 설명되었지만 본 발명의 기술 사상 범위 내에서 다양한 변형 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허청구범위에 속함은 당연한 것이다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서, 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)와, 이에 포함되어 있는 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 구하고, 이를 아래의 수학적식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \tan^{-1}[\cos\phi(\sin\phi + (b/a)(I_x - I_{x0})/(I_y - I_{y0}))]$$

【청구항 2】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부 및 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서,

상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)로부터 이 신호의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 구하고 이 타원 계수와 출력신호(I_x)(I_y)의 값을 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 방식으로 각 출력신호(I_x)(I_y)와 이들로부터 계산된 위상각(θ)을 한 쌍으로 하는 데이터로 각 출력신호(I_x)(I_y)에 대한 룩업 테이블(lookup table)을 작성하여, 위상각(θ)을 측정할 때 상기 90° 위상 혼합부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)와 한 쌍을 이루는 위상각(θ)을 상기 룩업 테이블로부터 읽어내는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \tan^{-1} [\cos\phi (\sin\phi + (b/a)(I_x - I_{xo}) / (I_y - I_{yo}))]$$

【청구항 3】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부, 비선형 오차 보정부, 위상 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계;

상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계;

상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ϕ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 비선형 오차 보상방법.

【청구항 4】

2 주파수 레이저 간섭계와 90° 위상 혼합부, 비선형 오차 보정부, 위상각 계산부를 구비하며, 고정 및 이동거울에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)에 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합한 후 이들로부터 고주파 성분을 필터링하여 출력신호(I_x)(I_y)를 생성하고, 이들로부터 길이 측정을 위한 위상각(θ)을 구하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)의 진폭 a, b 와 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ϕ 등의 타원계수를 계산하는 제 1단계;

상기 출력신호(I_x')(I_y')와 타원계수로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋과 진폭 그리고 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 제 2단계; 및

상기 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부에서 출력되는

출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ψ 가 '0'이 되도록 보정하는 제 3단계; 및

상기 출력신호(I_x')(I_y')의 오프셋, 진폭, 위상이 보정된 출력신호(I_x)(I_y)를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 계산하는 제 4단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정방법.

$$\theta = \arctan(I_y/I_x)$$

【청구항 5】

두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 기준신호(I_r)와 고정 및 이동거울 (4a)(4b)에 반사된 두 주파수 레이저 광속의 간섭으로 생성된 길이 측정을 위한 측정신호(I_m)를 출력하는 2 주파수 레이저 간섭계(100);

상기 간섭계(100)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 기준신호(I_r)와 90° 위상 변환된 기준신호(I_r)를 각각 혼합한 후 고주파 성분을 필터링하여 위상 감지를 위한 출력신호(I_x)(I_y)를 출력하는 90° 위상 혼합부(200);

비선형 오차 보정부(300)에서 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 피드백받아 상기 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 오프셋 I_{x0}, I_{y0} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 오프셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하고, 상기 계산된 조정전압에 의해 출력신호(I_x')(I_y')의

오프셋 I_{x0}, I_{y0} 가 '0'이 되고, 진폭 a, b 가 동일한 값을 가지며, 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상차 ψ 가 '0'이 되도록 보정하는 비선형 오차 보정부(300); 및

상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 출력되는 출력신호(I_x')(I_y')를 아래의 수학식에 적용하여 위상각(θ)을 구하는 위상각 계산부(400);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

$$\theta = \arctan(I_y'/I_x')$$

【청구항 6】

제 5항에 있어서,

상기 간섭계(100)는, 주파수가 서로 다른 수직·수평의 편광성분을 갖는 레이저 광속 (ω_1)(ω_2)을 발진하는 레이저(1);

상기 레이저 광속을 편광 광분리기(3)에 입사하기 위한 측정광과 편광판(5a)을 통해 광검출기(6a)에 입사하기 위한 기준광으로 각각 분리하는 광분리기(2);

상기 광분리기(2)의 기준광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 기준신호(I_r)를 검출하여 믹서(8a)와 90° 위상 변환기(7)에 각각 공급하는 광검출기(6a);

상기 광분리기(2)에서 출력되는 두 레이저 광속의 측정광을 고정거울(4a)과 이동거울(4b)에 입사시켰다가 반사되는 두 레이저 광속을 다시 혼합한 후 편광판(5b)을 통해 광검출기(6b)에 공급하는 편광 광분리기(3); 및

상기 편광 광분리기(3)의 측정광에서 두 레이저 광속의 간섭신호인 측정신호(I_m)를 검출하여 믹서(8a)(8b)에 각각 공급하는 광검출기(6b);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 7】

제 5항에 있어서,

상기 90°위상 혼합부(200)는, 상기 광검출기(6a)에서 공급되는 기준신호(I_r)를 90°위상 변환시켜 믹서(8b)에 공급하는 90°위상 변환기(7);

상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 광검출기(6a)에서 출력되는 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8a);

상기 광검출기(6b)에서 출력되는 측정신호(I_m)에 상기 90°위상 변환기(7)를 통해 90°위상 변환된 기준신호(I_r)를 혼합하는 믹서(8b); 및

상기 믹서(8a)(8b)에서 출력되는 출력신호(I_x)(I_y)로부터 고주파 성분을 필터링하여 옵셋 보정기(11a)(11b)에 각각 공급하는 저주파 필터(9a)(9b);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 8】

제 5항에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부(300)는, A/D 변환기(14)를 통해 비선형 오차 보정부(300)로부터 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 와, 옵셋 I_{xo}, I_{yo} 그리고 위상차 ψ 등의 타원계수를 구하고, 이로부터 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭과 옵셋, 위상을 보정하기 위한 조정 전압을 계산하는 마이크로프로세서(17);

D/A 변환기(15)를 통해 상기 마이크로프로세서(17)에서 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)로부터 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 옵셋 I_{xo}, I_{yo} 가 '0'이 되도록 보정하는 옵셋 보정기(11a)(11b);

상기 D/A 변환기(15)를 통해 상기 마이크로 프로세서(17)로부터 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y')의 진폭 a, b 가 동일한 값을 갖도록 보정하는 진폭 보정기(12a)(12b); 및

상기 D/A변환기(15)를 통해 상기 마이크로 프로세서(15)로부터 출력되는 조정 전압에 의해 상기 비선형 오차 보정부(300)를 통해 피드백되는 출력신호(I_x')(I_y') 사이에서 90° 를 벗어난 위상값 ψ 가 '0'이 되도록 보정하는 위상 보정기(13);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시스템.

【청구항 9】

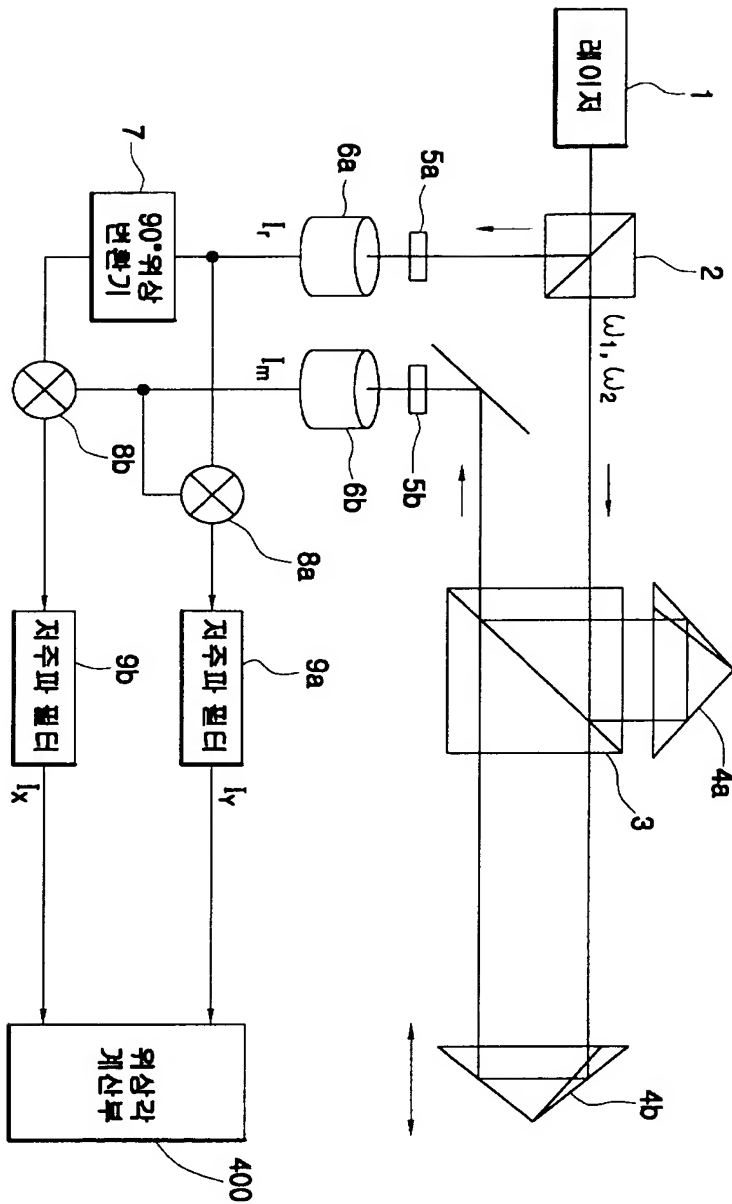
제 5항 또는 제 8항에 있어서,

상기 비선형 오차 보정부(300)의 옵셋 보정기(11a)(11b)와 진폭 보정기(12a)(12b) 그리고 위상 보정기(13)는, 서로 다른 순서로 배열 가능한 것을 특징

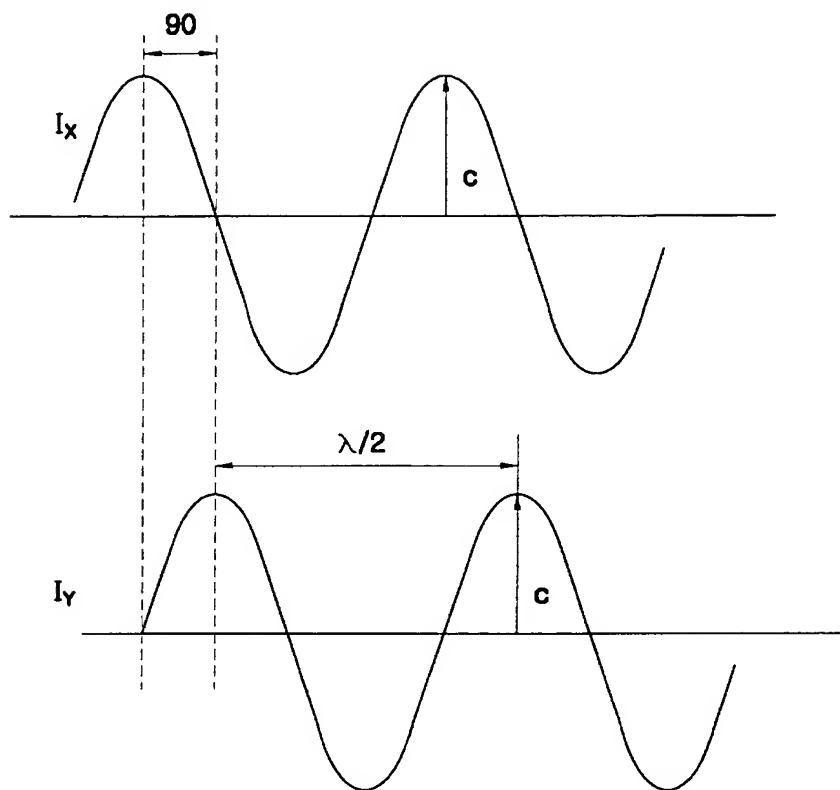
으로 하는 상기 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한 위상각 측정시
시스템.

【도면】

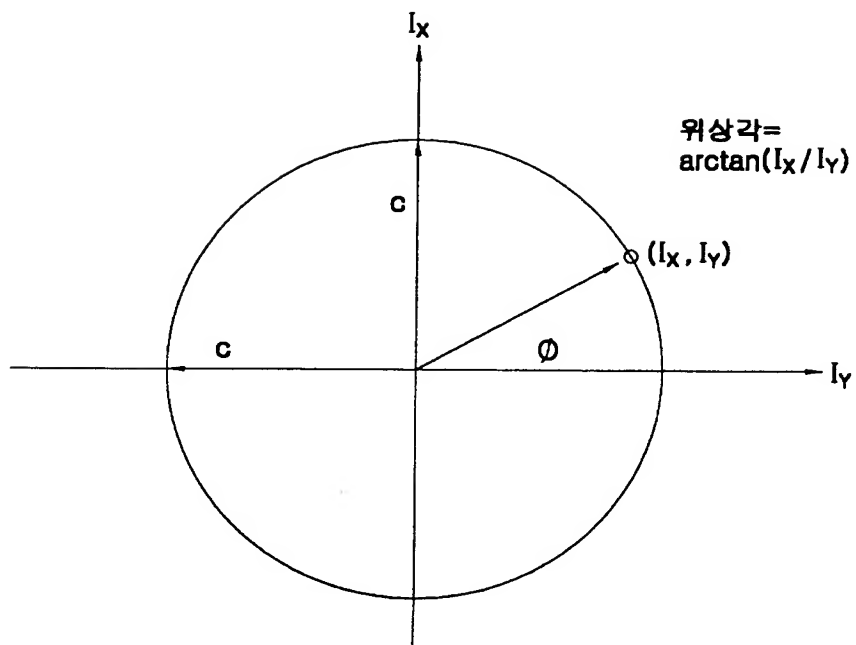
【도 1】



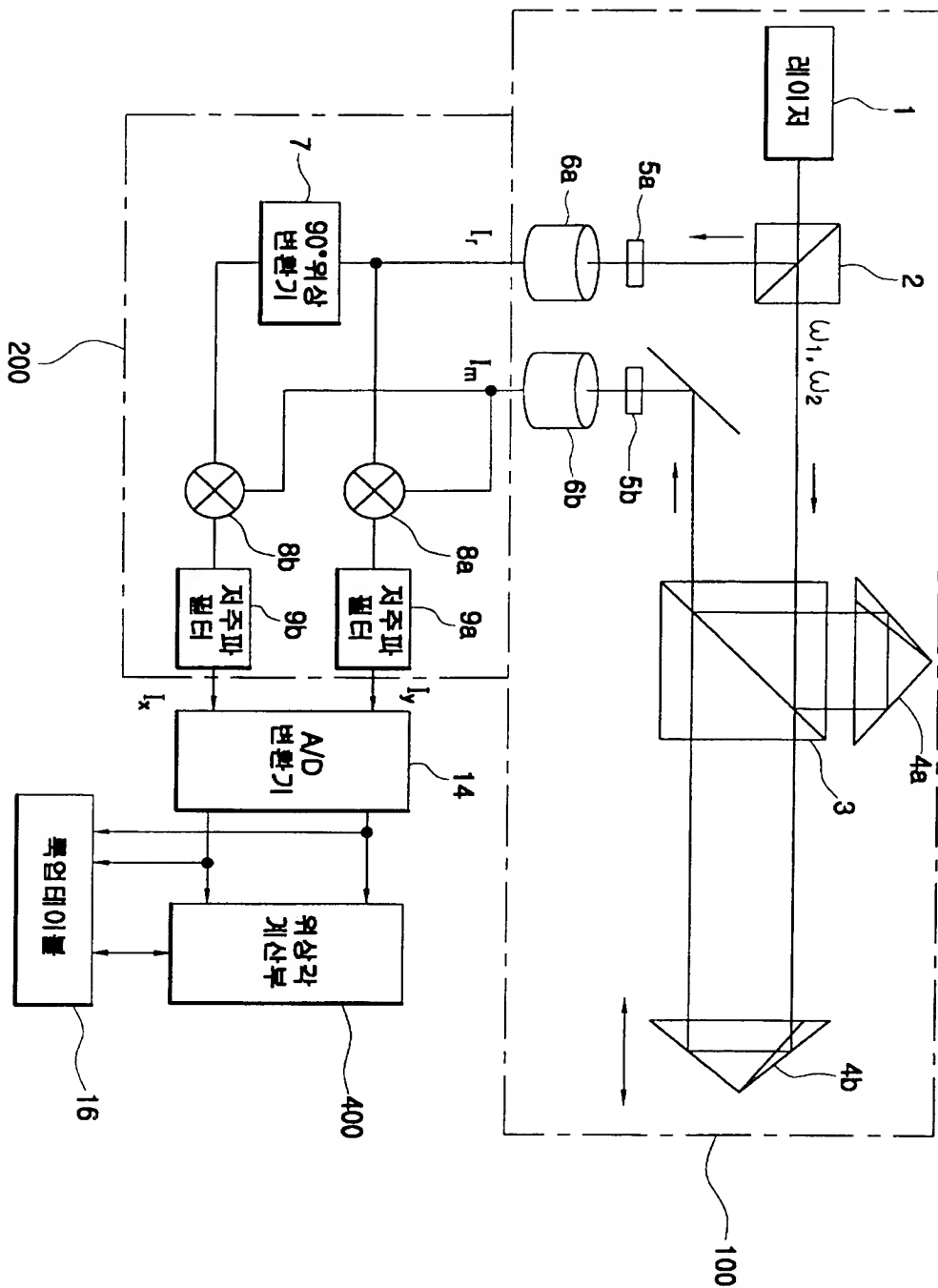
【도 2】



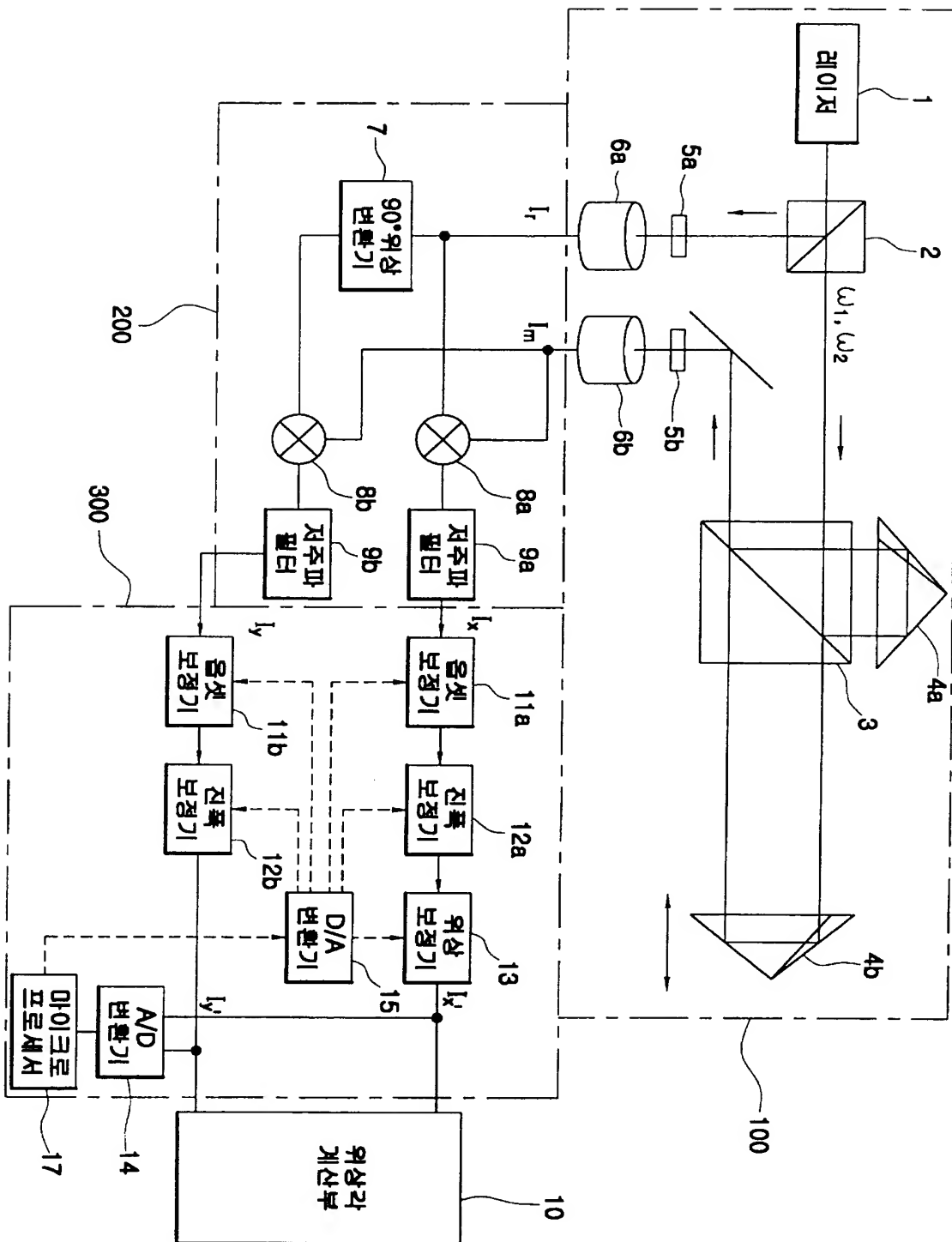
【도 3】



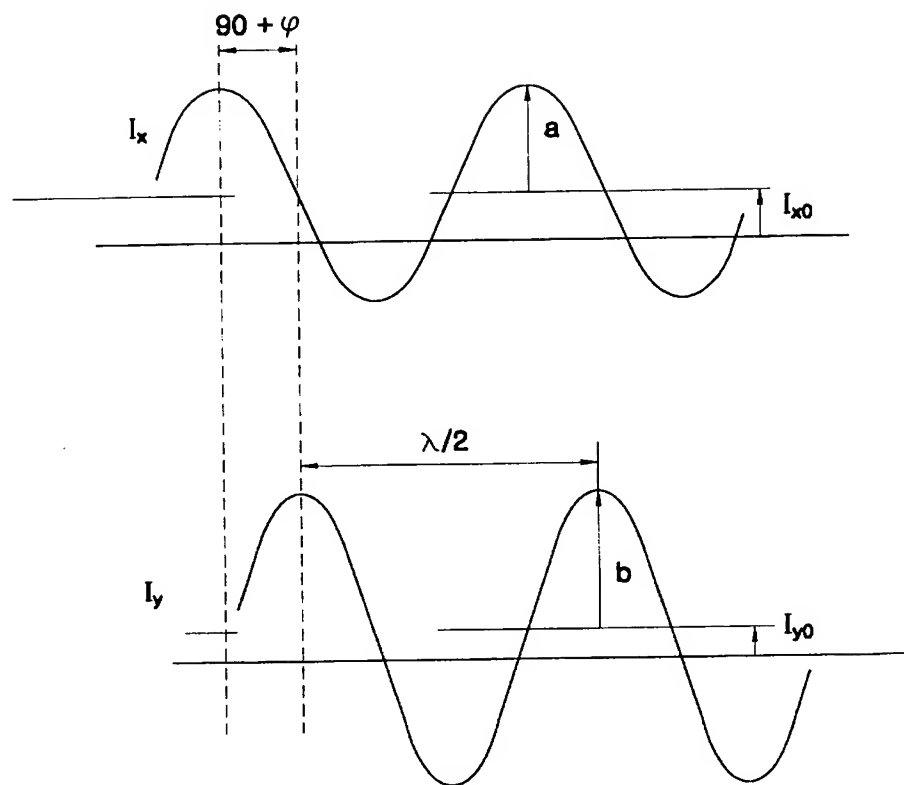
【도 4】



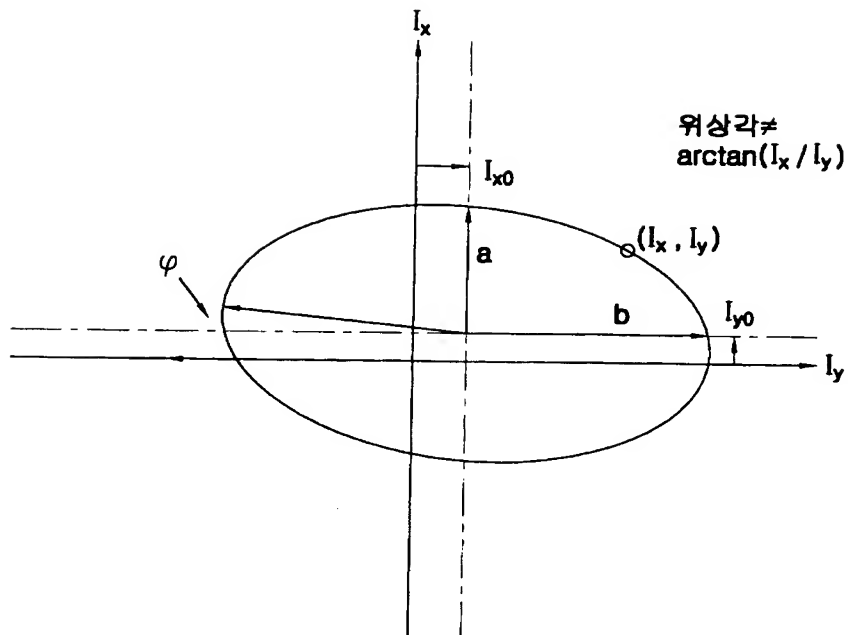
【도 5】



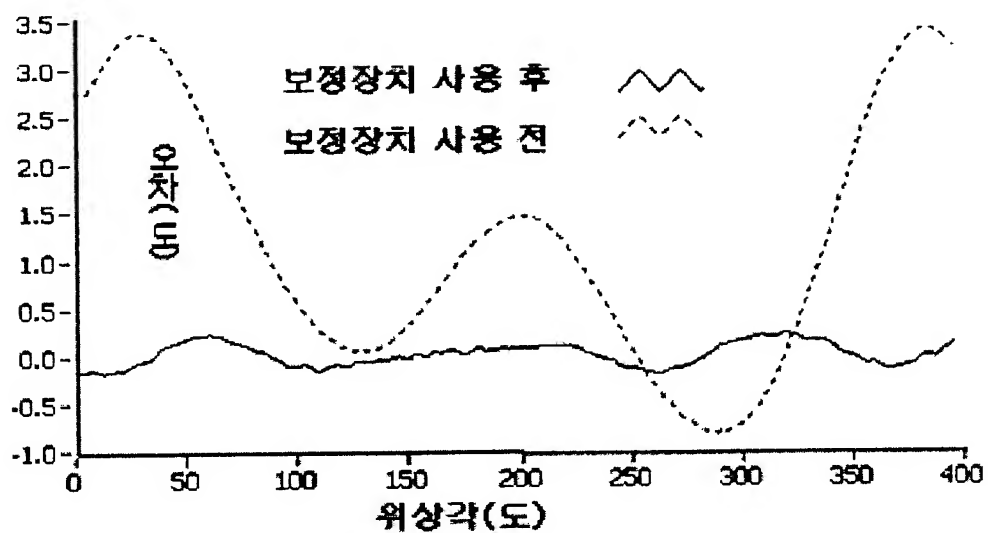
【도 6】



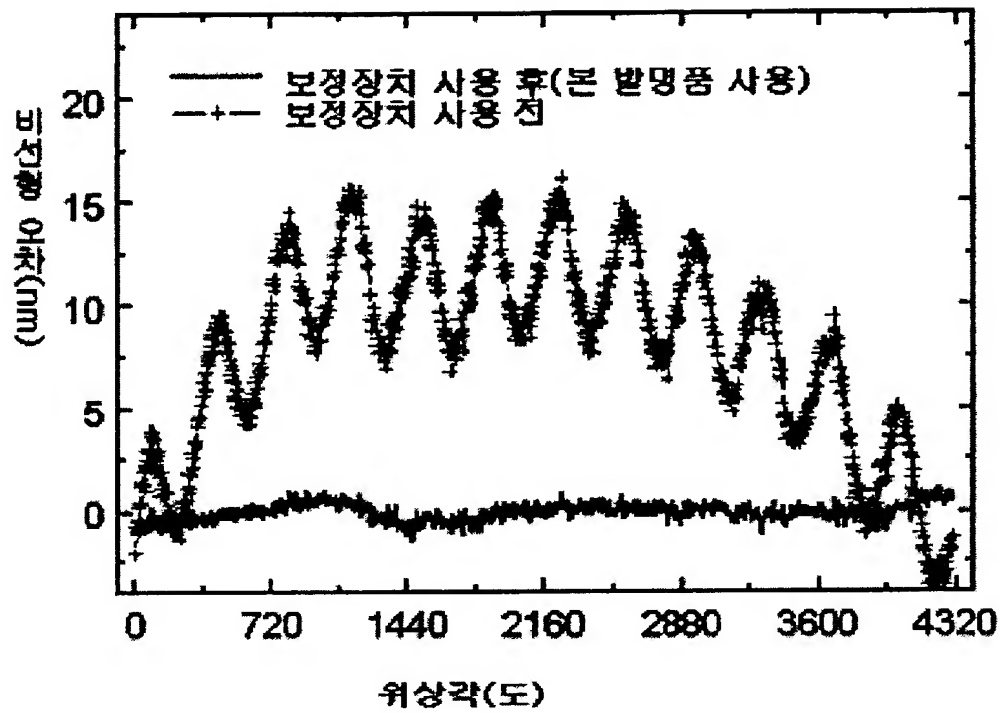
【도 7】



【도 8】



【도 9】



【서지사항】

【서류명】 명세서 등 보정서

【수신처】 특허청장

【제출일자】 2001.09.25

【출원인】

【명칭】 한국표준과학연구원

【출원인코드】 3-1998-007764-4

【사건과의 관계】 출원인

【대리인】

【성명】 박만순

【대리인코드】 9-1998-000234-8

【포괄위임등록번호】 1999-041592-5

【사건의 표시】

【출원번호】 10-2001-0052030

【출원일자】 2001.08.28

【심사청구일자】 2001.08.28

【발명의 명칭】 2 주파수 레이저 간섭계에서의 길이 측정을 위한
위상각 측정 방법 및 비선형 오차 보상방법 그리고
이를 이용한 길이 측정 을 위한 위상각 측정방법 및
측정 시스템

【제출원인】

【접수번호】 1-1-01-0217321-01

【접수일자】 2001.08.28

【보정할 서류】 명세서등

【보정할 사항】

【보정대상 항목】 별지와 같음

【보정방법】 별지와 같음

【보정내용】 별지와 같음

【취지】 특허법시행규칙 제13조·실용신안법시행규칙 제8조
의 규정에의하여 위와 같 이 제출합니다. 대리인
박만순 (인)

【수수료】

【보정료】 0 원

【추가심사청구료】 0 원

【기타 수수료】 0 원

【합계】 0 원

【첨부서류】

1. 보정내용을 증명하는 서류_1통

【보정대상항목】 식별번호 94

【보정방법】 정정

【보정내용】

【수학식 18】

$$I_x = [(1 + \Gamma_2)/2] \cos \theta + \Gamma_1/2$$

【보정대상항목】 식별번호 96

【보정방법】 정정

【보정내용】

위의 수학식 18, 19를 보면, 리샤쥬 그림에서의 타원의 직경은 Γ_2 에 의해 변경되고, Γ_1 에 의해 원점이 이동됨을 알 수 있다.